



Qualité de l'air intérieur (QAI) & Énergie : Comment concilier QAI et efficacité énergétique dans le tertiaire ?

Les enseignements du Hub Air Energie



Sommaire

1	LES ENSEIGNEMENTS CLES	7
	Volet QAI	9
	Volet énergétique	16
2	RESUME EXECUTIF	23
3	GLOSSAIRE DES ABREVIATIONS	29



Qu'est-ce que le Hub Air Energie ?

Au moment où le Dispositif Eco Energie Tertiaire DEET a lancé 70% du parc tertiaire national sur un objectif à 40% d'économies d'énergie pour 2030 et alors que la Qualité de l'Air Intérieur (QAI) est un sujet de santé publique reconnu mais encore peu maîtrisé, optimiser QAI et énergie est un double enjeu majeur pour l'ensemble des bâtiments.

Aussi, se pose la question de comment améliorer de manière concomitante :

1. l'efficacité énergétique des bâtiments (EEB), à confort maintenu ou renforcé ; et
2. la qualité de l'air intérieur (QAI), mesurée à cette occasion ?

Le Hub Air Energie (HAE) regroupe une communauté d'acteurs publics et privés désireux d'apprendre et d'expérimenter sur le terrain pour répondre à cette question et concilier une bonne qualité de l'air intérieur et une consommation d'énergie maîtrisée dans les bâtiments. Des propriétaires, constructeurs, gestionnaires de sites et des locataires peuvent être cités parmi ces acteurs : **ADEME, Bouygues Construction, BNP Paribas Real Estate et REPM, Départements de l'Essonne et du Pas de Calais, EDF, Nhood, Région Grand Est et les villes de Lille, Meudon, Paris et Tramayes.**

Un exemple parmi d'autres de leurs interrogations à la genèse du Hub Air Energie :

« Impossible de concilier QAI et Energie »

« Ventilation et/ou aération ? »

« Mesures réglementaires, mesures en continu ? »

« Il faut mettre des épurateurs d'air ! »

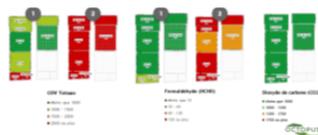
« Comment qualifier une bonne QAI ? »

Pendant 24 mois, cette communauté a mis à disposition des bâtiments de leur parc en exploitation, dont 10 établissements scolaires (1 lycée, 4 collèges et 5 écoles) et 5 bâtiments tertiaires (4 tertiaires bureaux et 1 galerie marchande). Chaque partenaire a disposé d'un parcours individualisé progressif, participatif et pragmatique s'articulant autour de 4 piliers : Comprendre, Analyser, Agir et Echanger.

Les travaux du HAE consistent à :

Comprendre et sensibiliser

Réaliser un diagnostic participatif avec toutes les parties prenantes
Construire et partager un plan d'actions



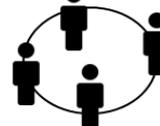
Monitorer le parcours de progrès

Mesurer la performance sur un jumeau numérique
Comprendre les leviers, les impacts
Faire vivre le plan d'actions
Analyser et progresser



Partager et échanger

Ateliers de partage
Animer la communauté du Hub
Partager les REX
Publication



Ce programme est financé par l'Ademe et la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) du Ministère de la Transition écologique, de l'Energie, du Climat et de la Prévention des Risques.

Enfin, le HAE est co-piloté par l'IFPEB (expertise énergie) et par le Cerema (expertise QAI).



12 maîtres d'ouvrages et 15 sites



Un partenaire externe pour le monitoring QAI :



01

LES ENSEIGNEMENTS CLES

Cette publication résulte de l'implication des partenaires du Hub Air Energie sur le terrain et de l'animation de la communauté d'acteurs publics et privés pendant 24 mois par le Cerema et l'IFPEB. Elle révèle quelques enseignements clefs en deux temps : la Qualité d'Air Intérieur (QAI) en premier lieu puis sur les opportunités techniques et énergétiques pour y embarquer la QAI.

1. Enseignements sur le volet QAI

Au lancement du partenaire dans le Hub Air Energie (HAE), les diagnostics participatifs réunissaient toutes les parties prenantes (maître d'ouvrage, occupant, exploitant technique, services achat et technique, équipe d'entretien) autour du site lancé en expérimentation. Les diagnostics ont révélé des degrés de maturité assez divers sur la QAI selon les partenaires.

Niveaux de maturité des partenaires

Peintures, revêtement de sols écolabellisés :
Très bonne
Produits d'entretien écolabellisés : Bonne
Mobilier d'aménagement : Faible
Rôle de l'occupant pour éviter les pics de pollution : Faible

Cette maturité différente de nos partenaires, sur les sources de pollution s'explique sans doute par l'existence d'une réglementation sur les émissions de composés organiques volatiles totaux (COVt) issus des produits de construction (peinture, colles, sols, etc.), alors que le mobilier d'aménagement en est exempt. Par ailleurs, le choix disponible sur le marché en mobilier d'aménagement¹ limitant l'impact sanitaire et certifiés NF Environnement ou NF Mobilier Education par exemple reste limité.

En l'absence de repères simplifiés et monitorés dans le temps concernant la présence de ces polluants en air intérieur, il est difficile pour les services techniques et les occupants, non experts en QAI, de connaître et de comprendre l'état des lieux sanitaire du bâtiment. Cette « méconnaissance » du point de départ contribue à une vision de la QAI souvent anxiogène ; certains partenaires présageant en effet d'une QAI dégradée sur leur site avec des résultats difficilement communicables auprès des occupants.

Pour bien connaître le point de départ, quels sont les seuils à viser ? Quelle est la définition d'une « bonne QAI » ?

Les résultats mesurés sur les sites du HAE ont permis de lever cette appréhension pour la majorité d'entre eux en traduisant les résultats et en proposant un plan d'actions pour aider le partenaire.

A travers les diagnostics participatifs, il a aussi été possible de les sensibiliser sur la QAI et de leur indiquer 3 grandes catégories de sources de pollution, chacune étant représentée dans le HAE par un polluant phare :

1. **Sources de pollution extérieures, représentées par les particules fines**, dites PM^{2,5}, émanant principalement des transports et du chauffage au bois de foyers ouverts dans le résidentiel, sont reconnues cancérigène certain par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) ;

¹ https://certification-ameublement.fcba.fr/documents/141_ademe_ecolair.pdf

² Particules en suspension (notées PM en anglais pour Particulate matter) incluant les matières microscopiques en suspension dans l'air. Les PM₁₀ regroupent les particules de diamètre inférieur à 10 µm, les PM_{2,5} celles inférieures à 2,5 µm, et les PM₁, celles inférieures à 1 µm.

2. **Sources de pollution intérieures liées principalement à l'individu occupant les locaux. Le dioxyde de carbone est un indicateur du taux de renouvellement de l'air.** Les occupants expirent de la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone CO₂, non dangereux pour la santé, mais impactant la qualité de vie et d'usages des espaces³. Les occupants peuvent aussi être sources de composés organiques volatils COV_t (parfum, activités, etc.). Ces derniers peuvent, à concentration élevée, avoir des effets sur la santé très divers et plus ou moins graves ;
3. **Sources de pollution intérieures liées aux matériaux et mobiliers du bâtiment, et à son usage,** qui peuvent relarguer plusieurs types de polluants, eux aussi, plus ou moins dangereux, comme les :
 - a. **composés organiques volatiles, COV_t** dont les effets sur la santé sont très divers, et peuvent être plus ou moins graves. Le formaldéhyde est, par exemple, reconnu comme cancérigène avéré⁴. La présence de ces composés dans l'air intérieur est liée au mobilier intérieur, aux peintures, aux produits d'entretien, ou à l'activité du site (matériel pédagogique dans une école, etc.) ;
 - b. particules fines (PM) remises en suspension à l'intérieur du bâtiment.

Cette sensibilisation sur les fondamentaux de la QAI fut nécessaire en diagnostic participatif pour les partenaires.

Message 1 : Le niveau de maturité sur la Qualité d'Air Intérieur (QAI) et les pratiques associées sont assez variables pour les partenaires du Hub Air Energie (HAE). La QAI est souvent perçue comme complexe par les différentes parties prenantes sur le terrain : services (patrimoine, technique, achats, entretien), exploitants et occupants.

Pour assurer une bonne gestion de la Qualité de l'Air Intérieur (QAI), celle-ci doit se traduire par le suivi de paramètres physico-chimiques. De tels éléments existent, dans la réglementation ou via les VGAI (valeurs guides de l'air intérieur)⁵ par exemple. Néanmoins, la multiplicité des composés à suivre, des méthodes ou durées de mesure, voire la traduction de ces paramètres (en indice, en pics, en moyenne, en diverses unités) apportent un foisonnement d'informations complexes à appréhender pour un néophyte. Les acteurs de terrain éprouvent ainsi des difficultés à les traduire concrètement en exploitation.

Une **espèce parapluie** (umbrella species, en anglais) est, en écologie, une espèce dont l'étendue du territoire ou de la niche écologique permet la protection d'un grand nombre d'autres espèces si celle-ci est protégée. Le principe proposé sur la QAI est proche avec la sélection des 3 composés « parapluie ».

En moyenne sur l'année et en période d'occupation, voici les seuils proposés d'une bonne QAI autour de trois composés physico-chimiques offrant un bon aperçu du spectre de la pollution intérieure :

- **Dioxyde de carbone (CO₂)**, marqueur de l'occupation et dépendant de la densité d'occupation et du taux de renouvellement d'air.
- **Composés organiques volatils totaux (COV_t)**, dont les sources de pollution sont majoritairement intérieures.



Méthode

³ L'impact de la qualité de l'air intérieur sur la valeur d'usage du bâtiment <https://www.ifpeb.fr/wp-content/uploads/2023/05/230517_Hub-Vibeo_Rapport-etude-QAI.pdf>

⁴ IARC monographs on the identification of carcinogenic hazards to humans <<https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications>>

⁵ Les valeurs guides de l'air intérieur sont des valeurs repères à suivre, corrélées à des temps d'exposition différents.

- **Particules fines (PM_{2,5})** dont les sources sont essentiellement extérieures au bâtiment (pics de pollution) mais également intérieures (remise en suspension).

Être bon sur ces composés peut présager d'une bonne QAI sur les autres composés. Ces composés ont l'avantage d'être relativement « faciles » à mesurer dans le temps avec des capteurs de mesure en continu, eux-mêmes facilement disponibles sur le marché.

Respecter les seuils de bonne QAI sur ces composés « parapluie » présage d'une bonne QAI générale.

Présager n'étant pas prévaloir, les autres polluants tels que le radon par exemple peuvent dans certaines régions être problématiques, ou encore le benzène et le formaldéhyde qui doivent être suivis pour certains établissements recevant du public (ERP) à travers des campagnes de mesure réglementaires⁶. Pour les sites non concernés par cette réglementation, il est également possible d'aller plus loin que ces trois composés parapluies en réalisant des campagnes de mesure sur les autres polluants.

L'illustration suivante résume les seuils proposés pour une bonne QAI et les valeurs limites. Ces « repères » sont issus d'un recoupement réalisé par les équipes du Cerema et de l'IFPEB à partir de plusieurs sources : l'ANSES⁷, le Haut conseil de la santé publique, la réglementation de surveillance de la QAI dans certains ERP et l'OMS⁸, entres autres.

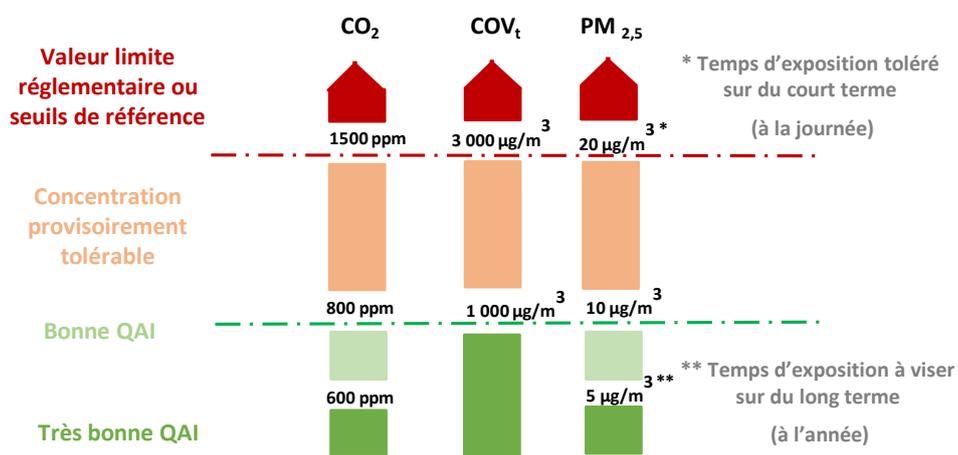


Figure 1: Synthèse pédagogique, à destination des exploitants et occupants, des seuils de QAI sur les composés parapluies – Source Cerema/IFPEB

Pour détailler la mise en application de cette recommandation sur les bâtiments concernés par l'installation des systèmes de pilotage (décret BACS⁹), un suivi en continu de la QAI avec des micro-capteurs, à lecture directe, est envisageable sur un échantillon de locaux témoins (1 capteur pour 1000 m² par exemple). Le coût de cette mesure pour les bâtiments concernés serait inférieur à 1 €/m².an, soit un coût très faible par rapport aux dépenses énergétiques annuelles estimées à 22€/m².an en 2016 dans le secteur tertiaire de bureaux¹⁰.

⁶ Code de l'environnement : la surveillance de la QAI dans certains ERP est rendue obligatoire (articles L. 221-8, R. 221-30 à R. 221-37 et R. 226-15)

⁷ L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, <<https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualit%C3%A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>>

⁸ Organisation mondiale de la santé

⁹ Building Automation Control System

¹⁰ ARSEG, devenu IDET, Buzzy Ratios dans le rapport immobilier durable <https://www.planbatimentdurable.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/le_barometre_version_pdf.pdf>

Message 2 : Caractériser les objectifs d'une bonne QAI, facilement mesurables autour de 3 composés « parapluie » : dioxyde de carbone, les composés organiques volatils totaux et les particules fines, permet de donner une première indication de l'état global de la QAI sur le site.

Ces critères de bonne QAI ont été utilisés pour réaliser un état des lieux des bâtiments mis à disposition par les partenaires du HAE. Le bilan sur l'ensemble des sites, avec ou sans ventilation mécanique est le suivant :

	CO ₂	COV _t	PM _{2,5}	Ventilation mécanique	Résultat global QAI
Etablissement scolaire 1				NON	
Etablissement scolaire 2				NON	
Etablissement scolaire 3				OUI	
Etablissement scolaire 4				NON	
Etablissement scolaire 5				NON	
Etablissement scolaire 6				OUI	
Etablissement scolaire 7				NON	
Etablissement scolaire 8				OUI	
Etablissement scolaire 9				OUI	
Etablissement scolaire 10				NON	
Tertiaire 1				OUI	
Tertiaire 2				OUI	
Tertiaire 3				OUI	
Tertiaire 4				OUI	
Tertiaire 5				OUI	

36 % sites respectent les seuils de bonne QAI

Figure 2: Synthèse des résultats QAI - valeur regardée en occupation, évaluée en moyenne sur 1 semaine en hiver 2022-2023 (vert : Bonne QAI, orange : QAI moyenne, rouge : QAI dégradée)

Pour révéler rapidement l'état des lieux de la QAI aux partenaires du HAE, la période de mesure s'est concentrée sur l'hiver. Les données ont été regardées en valeur moyenne et pendant les heures d'occupation du site. Le principe de précaution en santé publique a guidé le choix d'une méthode d'analyse assez conservatrice. La synthèse pour le site est dimensionnée par le composé ayant le résultat le plus dégradé.

En résumé, sur le panel de 14 sites (1 site ayant eu des problématiques de remontée de données) :

- **5 sites ont une QAI satisfaisante au regard des indicateurs**, soit 36% du panel. Ainsi, toutes les moyennes calculées sur 1 semaine en hiver sont en-dessous des seuils limites de bonne QAI proposés pour ces sites.
- **8 sites ont une QAI moyenne à assez satisfaisante, soit 57% du panel**. Cela signifie qu'au moins un des seuils bas est dépassé (sur au moins 1 polluant).
- **1 site a une QAI dégradé**, c'est-à-dire que le seuil haut est dépassé sur au moins 1 des 3 composés parapluie, en l'occurrence le CO₂.

Une comparaison directe entre les établissements scolaires et les bâtiments tertiaires de bureau n'a pas lieu d'être. Ces bâtiments n'ont pas la même intensité d'usage (densité d'occupation bien plus importante dans les établissements scolaires par exemple), le mode de suivi en exploitation ou encore le niveau d'équipements de ventilation mécanique.

Le panel du HAE ne disposait pas de sites avec une ventilation naturelle assistée mécaniquement ou pas, qui sont des systèmes de renouvellement d'air assez récent.

A l'exception d'un site dont le système est ancien et sous-dimensionné, tous les autres sites équipés d'une ventilation mécanique fonctionnelle respectent les seuils d'une bonne QAI pour le CO₂ et les particules fines PM_{2,5}.

Des pics de COV_t restent malgré tout visibles sur certains sites ventilés mécaniquement. Il est donc important d'évacuer ces polluants en ouvrant ponctuellement les fenêtres (protocole d'aération complémentaire à la ventilation) et d'envisager un retro-commissionnement avec équilibrage aéraulique de la ventilation mécanique pour maîtriser un débit au bon moment et au bon endroit. Ces recommandations sont explicitées dans la suite du document.

En ce qui concerne les sites non équipés d'un système de ventilation naturelle ou mécanique, ceux-ci ne respectent pas au moins 1 des seuils bas des 3 composés parapluie. Les pratiques d'aération renforcée permettent toutefois d'offrir des niveaux relativement satisfaisants dans les sites ayant mis en place ces protocoles, sans toutefois atteindre les niveaux des sites ventilés mécaniquement.

Message 3 : La QAI est assez satisfaisante sur le panel des 15 sites du Hub Air Energie ; les sites avec ventilation mécanique ayant, sans surprise, globalement une meilleure QAI que les sites avec une aération seule.

Les sites sans ventilation disposant de la seule aération par les fenêtres et mettant en place un protocole d'aération renforcé ont une QAI, dans certaines salles, proche des sites dont le système de ventilation mécanique est mal maîtrisé (mal dimensionné, mal réalisé ou mal entretenu).

Ventiler mécaniquement un bâtiment permet, sans surprise, d'améliorer significativement la qualité sanitaire des ambiances intérieures. Lors d'une rénovation d'ampleur, il est donc essentiel d'évaluer la faisabilité d'installer un système de ventilation pour améliorer et maîtriser la QAI du bâtiment.

Les graphiques qui suivent permettent de visualiser sur le panel des 15 bâtiments du HAE, le lien entre les débits de ventilation réels mesurés par les diagnostiqueurs et les concentrations des composés parapluies. Le panel est assez riche (localisation en milieu urbain dense ou rural, ventilation mécanique ou non, infrastructures routières à proximité ou non) mais ne recherche pas une représentativité du parc tertiaire. Des analyses plus exhaustives sont formulées dans la publication conjointe sur les enseignements détaillés.

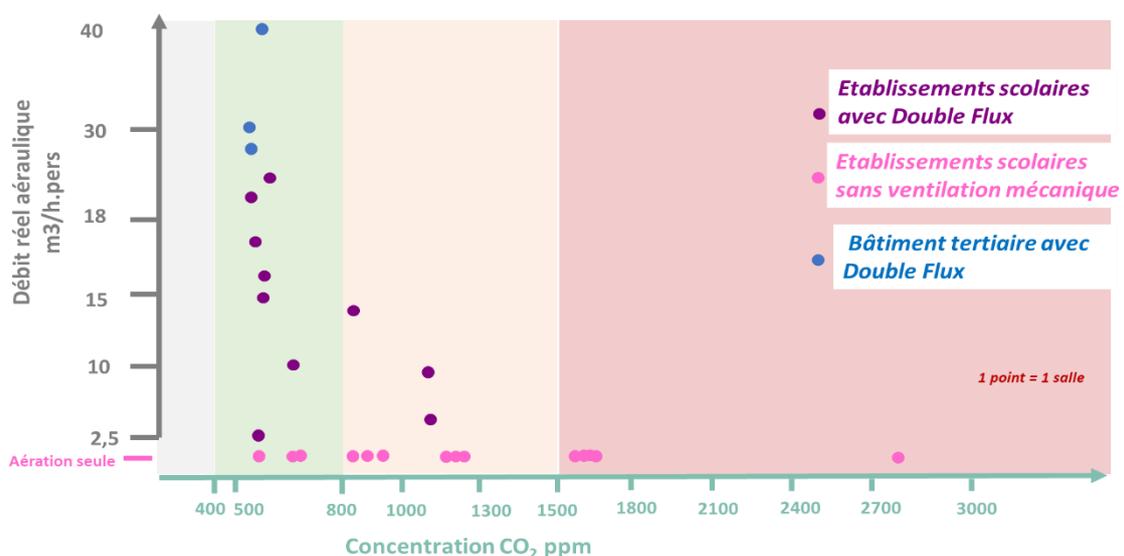


Figure 3 : Concentrations moyennes sur une semaine en hiver du CO₂ en fonction des débits réels constatés lors des diagnostics participatifs – panel restreint à 8 sites avec ventilation double flux à débits constants.

Pour les bâtiments étudiés du panel, le respect des débits aérauliques réglementaires actuels permet de respecter le seuil de bonne QAI pour le CO₂.

Les salles de classe dépassant les seuils de bonne QAI ne respectaient également pas les débits réglementaires (débits vérifiés aux bouches de soufflage et de reprise inférieurs aux 15 et 18 m³/h pour les établissements scolaires). Les débits de soufflage et de reprise ont été mesurés aux bouches par les équipes du Cerema lors du diagnostic participatif.

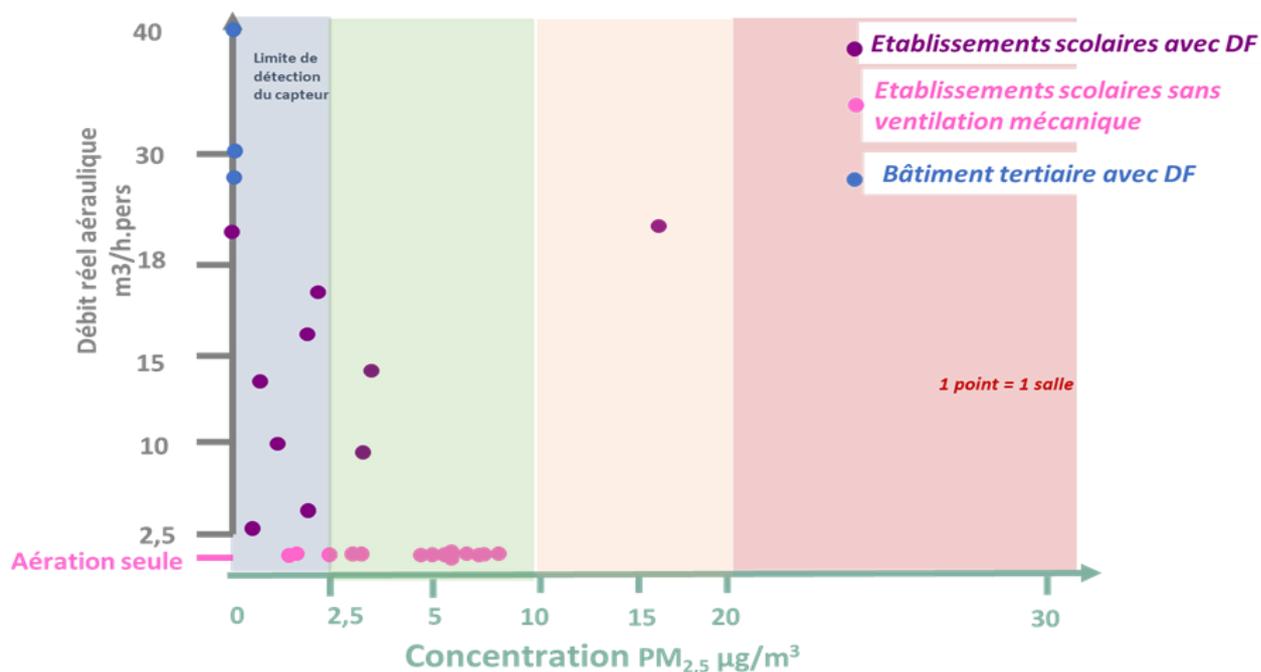


Figure 4: Concentrations moyennes sur une semaine en hiver des PM_{2,5} en fonction des débits réels constatés lors de diagnostics participatifs – panel restreint à 8 sites avec ventilation double flux à débits constants

Les valeurs moyennes de concentration en PM_{2,5} respectent le seuil de bonne QAI pour la très grande majorité des sites étudiés du panel, qu'ils soient équipés de ventilation mécanique ou non.

Les concentrations en PM_{2,5} sont très basses dans les salles ventilées en double flux. Certaines données se situent même dans la limite de détection du capteur (zone grisée). Les systèmes de ventilation sont équipés de filtres de traitement d'air permettant de limiter la pénétration des particules fines dans le bâtiment (majoritairement des filtres G4/F7). Les résultats sont plus élevés dans les salles de classe non ventilées, uniquement aérées par ouverture des fenêtres, mais restent néanmoins satisfaisants.

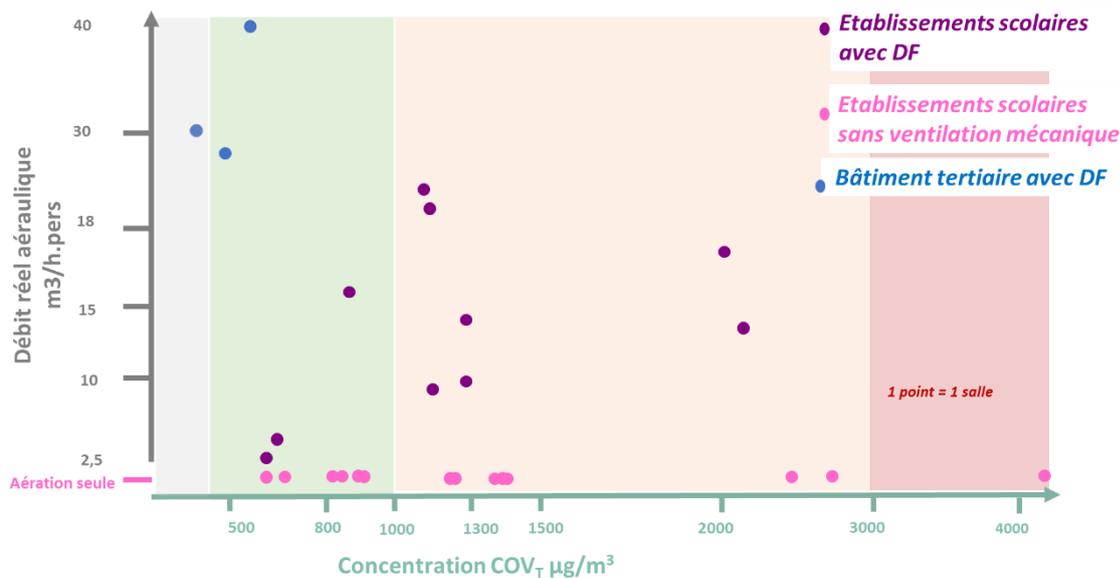


Figure 5: Concentrations moyennes sur une semaine en hiver des COV_t en fonction des débits réels constatés lors des diagnostics participatifs – panel restreint à 8 sites avec ventilation double flux à débits constants

Les bâtiments de bureau ont des très bons résultats liés à des débits de ventilation plus élevés que la réglementation. Les concentrations en COV_t sont plus diffuses selon les établissements scolaires y compris ceux équipés d’une ventilation mécanique.

La ventilation mécanique n’est pas un blanc-seing pour la QAI. Elle ne garantit pas l’absence totale de COV_t notamment lors des pics d’émissions. Une aération complémentaire reste nécessaire pour ces établissements scolaires suivis dans le HAE afin de lisser les pics d’émission.

En parallèle de la ventilation, il demeure donc absolument nécessaire de :

- réduire les sources d’émission à la source, notamment à travers la sensibilisation des occupants et des services techniques (mobilier d’aménagement, peintures, produits de nettoyage, etc.) ; d’informer/sensibiliser et accompagner les occupants sur l’aération régulière en complément de la ventilation.

Sur les sites non équipés de système de ventilation, la mise en place d’un protocole d’aération renforcée (avec ouverture de fenêtres *a minima* de 5 minutes toutes les heures et de 5 à 10 minutes minimum à chaque récréation) représente une solution incontournable.

Une information en temps réel via un capteur à lecture directe affichant la mesure est également un outil pertinent, permettant aux occupants de contrôler les effets de leurs comportements. Ainsi,

Jusqu’à 50 % de baisse de la concentration moyenne en COV_t avec une aération renforcée

Sur une école élémentaire, le protocole d’aération renforcée mis en place par les classes témoins a permis d’améliorer significativement la concentration en COV_t mais peut également impacter à la hausse les particules fines si le site est en zone urbaine dense (seuil bonne QAI maintenu malgré tout). Ce protocole doit donc dans l’idéal prendre en compte également la qualité de l’air extérieur.

il est nécessaire d'accompagner la transformation des pratiques des occupants en leur donnant la capacité d'agir au bon moment. Cela suppose qu'ils disposent d'une information régulière afin de s'adapter et d'optimiser les ouvertures de fenêtres afin d'évacuer les pics d'émission de COV_t .

Messages 4 : La ventilation a un effet significatif sur la réduction des concentrations de CO_2 et de $PM_{2,5}$ mais son incidence sur les COV_t n'est pas aussi évidente sur le panel. Les occupants ont un rôle à jouer pour abaisser les pics ponctuels de concentration COV_t . Dans tous les cas, pour des pics réguliers et importants, une recherche de l'origine des composés est indispensable.

2. Enseignements sur le volet énergétique

L'efficacité énergétique, répondant à un enjeu économique immédiat, dispose d'un socle de connaissance du parc tertiaire plus important que la QAI et a un corpus réglementaire ambitieux (RE 2020¹¹, Dispositif Eco Energie Tertiaire¹², BACS, etc.). A ce titre, les partenaires du HAE avaient globalement un niveau de maturité sur l'énergie plus avancé que sur la QAI.

L'analyse ci-dessous liste les points de synergie entre QAI et Energie. Le volet Energie est aussi une opportunité pour embarquer la QAI que ce soit lors dans les phases de conception technique du lot ventilation/GTB, ou en exploitation avec les différentes organisations sur le terrain.

Déconstruire les idées reçues

Les partenaires du Hub air énergie ayant pu activer un protocole d'aération renforcée ou faire des actions améliorant la QAI ont également pu réaliser des économies d'énergie similaires à la moyenne nationale¹³. La situation de départ en QAI est, comme pour l'énergie, un critère important. Un site ayant un niveau non satisfaisant de QAI devra réaliser plus d'efforts pour renouveler plus fortement l'air impactant probablement à la hausse la consommation. Pour la plupart des sites du HAE, l'impact sur la consommation énergétique n'a pu être établie par la mesure issue des compteurs.



Un air humide nécessite plus d'énergie pour être chauffé qu'un air sec et génère un certain inconfort thermique qu'il faut compenser par une hausse de la température de consigne. Aérer plus fréquemment (et non plus longtemps) pour réduire l'humidité de l'air (l'air extérieur est plus sec en hiver) limite la surconsommation liée à l'apport d'air frais extérieur et peut faciliter l'acceptation des températures de consigne à 19°C par exemple.

¹¹ Règlementation Environnementale RE 2020 <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/reglementation-environnementale-re2020>

¹² <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/eco-energie-tertiaire-eet>

¹³ https://www.planbatimentdurable.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/lbv_11-09-_v4-rapport_sobbat_complet_avec_edito_ministre.pdf

Recommandations techniques pour optimiser Energie et QAI lors de l'installation de nouveaux équipements :

- Le **Décret BACS impose une Gestion technique du bâtiment (GTB) pour les bâtiments tertiaires** existants équipés de système de chauffage ou de climatisation, combiné ou non avec un système de ventilation, dont la puissance nominale est supérieure à 290 kW (2025) ou 70 kW (2027). Le MOA peut prévoir avec le Maître d'œuvre d'embarquer les spécificités techniques suivantes au cahier des charges de la GTB pour embarquer QAI et Efficacité énergétique :
 - **Monitorer en continu la QAI sur un échantillon de locaux témoins et remonter les données sur une supervision** (locale sur site) ou une hypervision (à distance). Le logiciel de monitoring peut être commun avec l'énergie pour éviter de multiplier les interfaces. La supervision pourra disposer de systèmes d'alarme sur le dépassement des seuils de QAI prédéfinis par l'utilisateur et sur la mise en défaut anormale d'une CTA¹⁴.
 - **Pouvoir piloter facilement les consignes des centrales de traitement d'air CTA** (sans avoir à recourir à l'intégrateur GTB par la suite dans une mission complémentaire) avec les données suivantes :
 - **Intégrer sur la supervision un point de consigne sur le débit d'air neuf (m³/h) et/ou sur le débit de soufflage maximal de la CTA en m³/h lorsque l'installation est en débit fixe.** La pression de soufflage en Pa, souvent utilisée en consigne, est plus difficile en interprétation pour le technicien d'exploitation.
 - **Optimiser les plages de fonctionnement des centrales de traitement d'air** avec une programmation horaire selon un calendrier annuel avec plusieurs journées types (Jours ouvrés, WE - jours fériés et autre journée spécifique). Intégrer une journée dite flex-ready pour pouvoir avoir un mode réduit sur le débit pendant les plages horaires d'occupation lors des journées sensibles sur le réseau électrique (Ecowatt par exemple) tout en veillant sur les seuils de bonne QAI, ou intégrer facilement une occupation en soirée qui sort du calendrier classique.
 - **Mettre une consigne de température de soufflage et de retour** sur l'air et sur l'arrêt des pompes alimentant les batteries chaudes et froides des CTA, lors de la conception d'une installation aéraulique.
- **Lors d'une installation aéraulique neuve, envisager un zonage aéraulique horizontal** (par étage si possible) et non vertical (colonne technique alimentant dans la verticalité tous les étages d'un bâtiment). Dans un bâtiment de bureau en mono-occupation et en multi-occupation (plusieurs locataires par exemple), le zonage horizontal permettra à l'exploitant technique du site de mettre en sommeil la ventilation des étages concernés pour :
 - Gérer la vacance immobilière ;
 - Mettre en sommeil tout ou partie du site en le fermant 1 jour par semaine autour du week-end suite à un accord avec les entreprises occupantes (en proposant par exemple une journée télétravaillée pour tous les collaborateurs).

¹⁴ Centrale de traitement d'air, c'est-à-dire une ventilation mécanique double flux

- **Equiper le réseau aéraulique de registres d'équilibrage aux différents raccords principaux du réseau** pour être en mesure d'équilibrer les réseaux et d'obtenir les débits au bon endroit.

Recommandations sur les installations techniques en phase exploitation

- **Adapter la ventilation au taux d'occupation réel des bâtiments tout en vérifiant le respect des seuils de bonne QAI.**¹⁵ Intégrer sur la supervision un point de consigne sur le débit d'air neuf et/ou sur le débit de soufflage maximal de la CTA en m³/h lorsque l'installation est en débit fixe. La pression de soufflage en Pa, souvent utilisée en consigne, est plus difficile en interprétation lorsque l'exploitant souhaite comparer le débit d'air neuf global à l'occupation réelle du site.
- **Le suivi de l'intensité d'usage du site (notamment le taux d'occupation)** est initié par le dispositif Eco-Energie Tertiaire. Les textes réglementaires précisent la modulation des objectifs de performance énergétique (2030) selon **l'occupation réelle du site**. Il prend en compte l'intensité d'usage (suivi d'un taux d'occupation sur l'année et ses évolutions dans le temps)¹⁶. **Comparer le débit nominal soufflé sur le site (installation en débit fixe) au regard de l'occupation réelle du site permet de se poser les bonnes questions et d'envisager une modulation de la ventilation tout en suivant l'atteinte des cibles QAI.**
- **Le dispositif Eco Energie tertiaire** implique potentiellement des travaux sur la ventilation pour atteindre les objectifs ambitieux de 2030. **Réaliser un rétrofit sur la CTA** avec la mise en place de moteurs à courant continu ou la mise en place d'une nouvelle CTA à débit variable nécessitant d'optimiser la distribution aéraulique sur les capteurs/actionneurs (sondes CO₂, registres motorisés et boîtes à débit variable). C'est également l'occasion de vérifier à la réception les débits aux bouches et de réaliser une campagne d'équilibrage.

Intégrer un « réflexe » QAI dans tous les contrats d'entretien ou lors d'actions de performance énergétique sur la ventilation.

Recommandations sur les bonnes pratiques des organisations en phase d'exploitation :

Comme pour l'énergie dont la co-responsabilité entre locataires et propriétaires a été ancrée par le Dispositif Eco Energie Tertiaire, débuter le parcours de progrès sur la QAI nécessite (1) un dialogue entre les différents services des organisations et (2) l'engagement des occupants :

- **Embarquer les services achats, avec le soutien de la direction, en reformulant le cahier des charges de certains produits** pour diminuer les principales sources de pollution intérieure (mobilier, produits d'entretien, matériels/fournitures, etc.).
- Sensibiliser les occupants au rôle important qu'ils peuvent prendre dans les bonnes pratiques d'aération et de diminution des sources de pollution. Enclencher le changement de comportement sur le volet QAI auprès des occupants peut être initié par :
 - Faire **preuve de pédagogie** et partager l'état des lieux avec un diagnostic participatif au sein du communauté d'occupants impliqués comme un acte fondateur.

¹⁵ Plan de sobriété dans les bâtiments tertiaires, les actions clefs

<https://www.planbatimentdurable.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/lbv_1-08- v3-sobenerg-actions_cles_vf.pdf>

¹⁶ Différents systèmes existent pour remonter cette information également à l'exploitant (assez basique avec l'export des données anonymisées à partir de la solution logicielle de la badgeuse ou du tourniquet, à des capteurs infrarouges installés pour faire une barrière de comptage).

- Faire **preuve de transparence** sur les niveaux de QAI atteints et pour suivre l'impact du changement des pratiques sur les résultats.
- **Fédérer la thématique QAI autour d'un référent énergie** en premier lieu. Après une mise à niveau indispensable des connaissances sur la QAI (notamment pour être en mesure de respecter la réglementation QAI en vigueur dans certains établissements recevant du public), le référent Energie pourra souvent utiliser les mêmes ressorts d'activation que pour l'énergie :
 - Etablir des objectifs, convaincre et fédérer tous les services.
 - Réaliser un état des lieux de la situation existante.
 - Déployer un plan d'actions sur la QAI avec un suivi en continu des résultats, comme c'est déjà le cas pour l'énergie (audit énergétique, plan d'actions et vérification annuelle de la performance atteinte pour tenir les objectifs du Dispositif Eco Energie Tertiaire DEET en comité vert par exemple).
 - D'envisager des actions sur l'optimisation de la Gestion Technique du Bâtiment (GTB) ou des Centrales de traitement d'air (CTA).

En exploitation, une nécessaire et difficile transformation des pratiques est à rechercher au sein des organisations. Les premiers leviers identifiés sur la QAI apparaissent plus faciles à intégrer s'ils sont réalisés en même temps que ceux de l'énergie.

Message 5 : L'efficacité énergétique peut (doit) être un levier de progrès pour la QAI :

- (1) En conception, embarquer la QAI « nativement » sur les spécificités exigées par l'énergie est une amélioration techniquement et économiquement plus accessible (ex : adosser un monitoring QAI au suivi énergétique lors d'une mise en place d'une GTB pour un site assujéti à BACS¹⁷ est une optimisation facilement envisageable).*
 - (2) En exploitation, adopter un réflexe QAI (contrats d'entretien, embarquer les occupants et les différents services) dans des organisations déjà tournées vers l'énergie. Cette mission peut être confiée au référent énergie « sensibilisé et formé » aux enjeux de la QAI.*
-

Depuis de nombreuses années, la maîtrise de l'énergie, s'est concentrée sur le poste de consommation énergétique le plus important : le chauffage. Une connaissance plus fine de l'installation hydraulique est apparue sur l'ensemble des acteurs de l'immobilier. Par extension, la chaîne de valeur sur le lot aéraulique peut s'améliorer de la programmation à la conception jusqu'à l'exploitation. Une des étapes fondamentales de ce perfectionnement est le commissionnement aéraulique¹⁸ avec pour objectif d'équilibrer les débits : avoir le débit juste au bon endroit. S'inscrire dans cette démarche permettrait d'améliorer l'efficacité aéraulique et les résultats sur la QAI. Recommissionner une installation aéraulique permet de ventiler mieux et au bon endroit. Cette mission permet globalement de :

- Réaliser un étalonnage des sondes CO₂ et d'ajuster les consignes d'ouverture des registres motorisés.
- Contrôler l'étanchéité du réseau aéraulique, détecter et réparer l'origine des fuites.

¹⁷ <https://rt-re-batiment.developpement-durable.gouv.fr/presentation-et-guide-du-decret-bacs-a712.html>

¹⁸ Protocole Promevent tertiaire est un socle technique de référence embarquant le commissionnement aéraulique < <https://www.promevent.fr/> >

- Equilibrer les réseaux à partir des organes de réglages, en principe, accessibles (registres, etc.).
- Vérifier par échantillonnage de locaux un contrôle des débits aux bouches, etc.
- S'assurer de la persistance des actions dans le temps en laissant une documentation explicitant les réglages optimaux.

Nota : en exploitation, l'équilibrage aéraulique ne permettra pas d'économies d'énergie pour le site. Un réseau aéraulique mal équilibré a pour conséquence d'avoir des débits insuffisants dans certains locaux entraînant une baisse de la QAI, sans que cela n'impacte la consommation énergétique de la centrale de traitement d'air (le débit d'air neuf, qu'il faut chauffer en hiver, transitant par la CTA reste le même). Au contraire, un réseau de chauffage mal équilibré hydrauliquement nécessite de chauffer le bâtiment globalement trop pour que le dernier local ait un confort suffisant. Le besoin d'équilibrage aéraulique des sites du HAE est visible sur le graphique suivant :

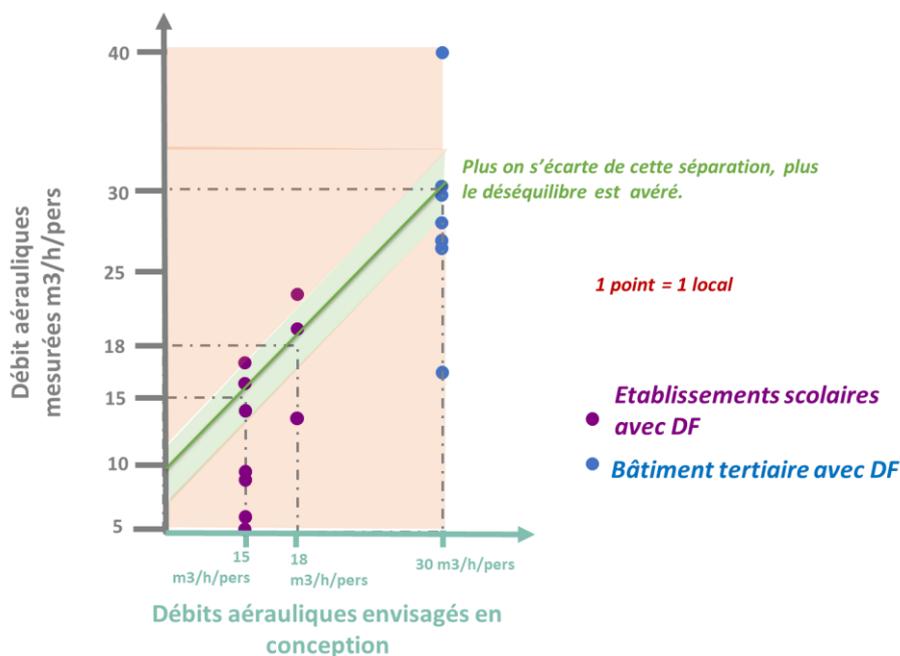


Figure 6: Croisement des débits aérauliques théoriques de conception et des débits réels constatés lors du diagnostic participatif - 4 sites équipés d'un système de ventilation double flux à débit constant (pas de sonde CO₂).

Message 6 : Le fonctionnement de la ventilation mécanique n'est souvent pas optimal en raison d'installations peu commissionnées à la réception de l'ouvrage.

Réaliser un commissionnement aéraulique lors d'une installation neuve ou un re-commissionnement aéraulique sur une installation existante favorise l'obtention des débits de renouvellement d'air neuf au bon endroit et au bon moment.

L'exploitation d'un bâtiment implique la présence d'un technicien d'exploitation sur site. Dans les collectivités notamment, l'exploitation est souvent en mode diffus (c'est-à-dire que le technicien exploite un ensemble de bâtiments et non basé exclusivement sur un bâtiment). Dans le cadre du HAE, les marchés d'exploitation, assez standardisés, pour les établissements scolaires équipés de ventilation mécanique se concentrent sur la maintenance des filtres, le fonctionnement des moteurs de CTA et parfois le nettoyage des gaines. Ils ne permettent pas la maîtrise dans le temps de tous les organes :

- Capteurs CO₂ à étalonner.
- Actionneurs : boîtes à débit variable dont le fonctionnement est à vérifier ainsi que des registres d'équilibrage.
- Mode de régulation de la CTA à pression constante avec le débit min et max à paramétrer selon la pression de soufflage, etc.
- Vérification des débits de soufflage et de reprise.

Avoir une conception aéraulique « pragmatique » sur le choix des solutions techniques pour ces sites et adaptée au mode d'exploitation apparait indispensable. Par exemple, sur une école, il convient d'être vigilant vis-à-vis de la multiplication des boîtes à débits variables asservies aux sondes CO₂. Sauf à avoir un contrat d'exploitation avec un haut niveau de prestation sur le lot ventilation, il pourrait être préféré un registre motorisé « tout ou peu¹⁹» par classe pour limiter la ventilation lorsque la salle de classe est inoccupée.

S'assurer du bon fonctionnement de l'installation aéraulique dans la durée est une préconisation de la directive européenne sur la performance énergétique du bâtiment EPBD²⁰ d'avril 2024. Il est nécessaire de réaliser une vérification périodique (tous les 5 ans), par échantillonnage, du débit des bouches, des organes d'équilibrage, de l'étalonnage des sondes CO₂ et de la bonne consigne sur l'ouverture des boîtes à débit variable. Cette fréquence permet par ailleurs d'être alignée sur la vérification périodique imposée tous les 5 ans de la GTB également dans le cadre du décret BACS²¹ dont le périmètre d'inspection concerne également les équipements de ventilation.

Message 7 : Maintenir dans le temps une ventilation mécanique pleinement fonctionnelle nécessite :

(1) D'envisager une conception technique pragmatique et adaptée au mode d'exploitation.

(2) De préciser la fréquence au clausier d'exploitation de nettoyage des bouches d'entrée d'air et de sortie de la CTA et des bouches de soufflage pour réaliser un entretien complet de l'installation.

(3) De réaliser périodiquement (tous les 5 ans) une vérification du bon fonctionnement aéraulique en contrôlant par échantillon les organes d'équilibrage et le débit des bouches de soufflage.

¹⁹ Le « peu » correspond régulièrement à 10% du débit nominal.

²⁰ Directive du parlement européen et du conseil sur la performance énergétique des bâtiments (refonte), Article 23, <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-102-2023-INIT/fr/pdf>

²¹ « Décret n° 2023-259 du 7 avril 2023 relatif aux systèmes d'automatisation et de contrôle des bâtiments tertiaires ».

In fine, l'ensemble des recommandations montre que le chemin reste long à parcourir pour optimiser sur le terrain, et à large échelle, la qualité de l'air intérieur et l'efficacité énergétique. Cependant, la publication révèle aussi certaines recommandations assez facilement déployables pour s'engager sur un parcours de progrès.



02

RESUME EXECUTIF

Le secteur de l'immobilier et de la construction, incité par les différentes réglementations thermiques successives, s'est structuré sur l'efficacité énergétique depuis près de 40 ans. Le Dispositif Eco Energie Tertiaire (DEET) accélère l'ambition énergétique à l'ensemble du parc tertiaire existant avec des obligations de résultats. La Qualité de l'Air Intérieur est, quant à elle, un sujet de santé publique identifié par un nombre croissant d'acteurs mais encore peu maîtrisé sur le terrain, et perçu comme complexe malgré une littérature abondante. **L'ensemble de la filière bâtiment doit donc résoudre une nouvelle équation Energie/QAI pour concevoir, réaliser et exploiter des bâtiments avec cette double optimisation.**

Pendant 24 mois, chaque partenaire public et privé du **Hub Air Energie** a mis à contribution un site en exploitation pour « apprendre » sur le terrain, photographier la situation existante et initier une dynamique de progrès sur la QAI et sur l'énergie avec toutes les parties prenantes (gestionnaire de site, exploitant technique, services achat, occupants, etc.). Des travaux de cette communauté, ressortent quelques enjeux clés et des recommandations.

1 CARACTERISER LA QAI INITIALE ET FIXER DES OBJECTIFS SIMPLES ET MESURABLES, D'UNE BONNE QAI, DANS LE TEMPS, EST ESSENTIEL.

Cette étape a été fondamentale pour initier le parcours de progrès car elle permet : (1) de partager la situation initiale sur la QAI d'un site occupé, (2) au sein du panel du Hub Air Energie, de révéler des résultats souvent moins « mauvais » qu'anticipés et (3) de partager des actions envisageables. Par exemple, se fixer un objectif de température de « 19 °C » donne envie de sensibiliser les usagers (mettre un pull, etc.), de dialoguer, de régler les installations, d'agir... De la même manière, se fixer des objectifs en QAI, permet d'enclencher le passage à l'action : monitorer les polluants, sensibiliser les usagers à la QAI, réduire les polluants à la source, renouveler l'air, etc.

En moyenne sur l'année et en période d'occupation, voici les seuils proposés d'une bonne QAI autour de trois composés physico-chimiques offrant un bon aperçu du spectre de la pollution intérieure :

- **800** ppm pour le **CO₂ (dioxyde de carbone)**, marqueur de l'occupation et dépendant de la densité d'occupation et du taux de renouvellement d'air.
- **1 000** µg/m³ pour les **COV_t (composés organiques volatils totaux)**, dont les sources de pollution sont majoritairement intérieures.
- **5** µg/m³ pour les **particules fines** (ici les PM_{2,5}) dont les sources sont essentiellement extérieures au bâtiment (pics de pollution) mais également intérieures (remise en suspension).



Méthode



Se concentrer sur trois composés parapluie : CO₂, Composés organiques volatils totaux (COV_t) et PM_{2,5}, c'est comme se fixer un 19 °C pour s'engager vers la sobriété énergétique. Obtenir les seuils de bonne QAI sur ces composés présage d'une bonne QAI générale sur le site mais n'exclut pas la vigilance sur d'autres polluants (radon ou benzène/formaldéhyde, etc.).

2 LA VENTILATION MECANIQUE A UN EFFET SIGNIFICATIF SUR L'AMELIORATION DE LA QAI MAIS N'EST PAS UN BLANC-SEING – OBTENIR LES DEBITS AU BON ENDROIT ET EMBARQUER LES OCCUPANTS COMME STRATEGIE D'ATTENUATION DES PICS DE POLLUTION.



La ventilation mécanique a un effet positif très significatif sur la QAI et tout projet de rénovation énergétique d'ampleur est l'occasion d'envisager la bascule vers une installation double flux plus efficiente énergétiquement. Son impact est fort sur la réduction des concentrations de CO₂ et de PM_{2,5}, mais son incidence sur les COV_t n'est pas aussi évidente pour les sites ayant une installation aéraulique mal équilibrée.

Des leviers sont disponibles pour optimiser les bénéfices d'une ventilation mécanique avec :

- (1) réduire à la source les pics d'émission de COV_t à partir d'un travail sur les usages : matériels, fournitures et mobiliers ;
- (2) réaliser un équilibrage aéraulique pour obtenir le bon débit au bon endroit en complément des gammes de maintenance usuelles annuelles (changement de filtres, etc.). Réaliser un contrôle périodique des installations aérauliques (tous les 5 ans) à partir d'un test des débits aux bouches sur un panel de locaux ;
- (3) gérer si besoin les pics ponctuels de pollution par l'implication des occupants. Une meilleure aération des locaux est envisageable pour évacuer les polluants (aérer mieux c'est à dire au bon moment) avec un protocole d'ouverture des fenêtres partagé avec les occupants incluant l'accès à la bonne information sur la QAI pour suivre l'impact favorable de ces nouvelles pratiques d'aération.



Le rôle du donneur d'ordre des usagers est moteur pour impulser une sensibilisation et un changement de pratiques QAI sur le terrain avec les occupants (comme pour l'énergie). Le rôle du maître d'ouvrage (ou du gestionnaire du site) est moteur pour ancrer un réflexe QAI dans les cahiers des charges en exploitation (nettoyage des espaces et des installations aérauliques, préconisations sur le mobilier, équilibrage aéraulique, etc.).

3

POUR LES SITES SANS VENTILATION MECANIQUE, IL EST POSSIBLE D'OBTENIR DES RESULTATS ASSEZ SATISFAISANTS EN ACTIVANT, DANS LA DUREE, LES LEVIERS DE SOBRIETE :

(1) RETIRER LES POLLUANTS A LA SOURCE, (2) MONITORER LES COMPOSES PARAPLUIES DE QAI, (3) AERER MIEUX, PLUS FREQUEMMENT ET NON PLUS LONGUEMENT EN EMBARQUANT LES OCCUPANTS.

Cette stratégie sur la sobriété QAI peut permettre de baisser jusqu'à 50% les concentrations moyennes de COV_t par exemple. Elle nécessite un dialogue entre les services pour sensibiliser les occupants. Une lecture directe des niveaux de polluants atteints doit être mise à leur disposition afin de constater l'impact de leurs changements de comportements et de maintenir ces pratiques dans la durée.

A l'instar des produits de construction (sols, peintures, etc.) qui disposent déjà d'un système d'étiquetage sur les émissions dans l'air intérieur, celui-ci pourrait être généralisé aux produits de nettoyage, aux mobiliers d'aménagement (chaises et bureaux par exemple) et aux fournitures scolaires (peintures et colles).

4

L'EFFICACITE ENERGETIQUE, AVEC UN SOCLE REGLEMENTAIRE AMBITIEUX, EST PLUS AVANCE DANS LES ORGANISATIONS. ELLE PEUT ETRE UN LEVIER DE PROGRES POUR EMBARQUER LA QAI.

En rénovation, dès la conception, embarquer des spécificités QAI sur les exigences réglementaires sur l'énergie (Dispositif Eco Energie Tertiaire, BACS²², etc.) est une optimisation techniquement et économiquement accessible. Pour les bâtiments concernés par l'obligation d'installer des systèmes de pilotage (décret BACS), il pourrait être ajoutée une obligation d'un suivi en continu de la QAI avec des micro-capteurs sur un échantillon de locaux (1 pour 1000 m² par exemple). L'installation de ces capteurs, à lecture directe, disposant d'une remontée des données sur la supervision, est envisageable à moindre coût pour le bâtiment (< 1€/m².an)).

D'autre part, la conception technique d'une installation aéralique double flux doit être pragmatique et adaptée au mode d'exploitation du site pour maintenir dans le temps une ventilation mécanique pleinement fonctionnelle. Le suivi en exploitation, la connaissance de l'installation et les contrôles diffèrent entre un bâtiment tertiaire bureau avec un haut niveau de prestation de services et de conduite d'exploitation, et une école par exemple dont la prestation d'exploitation est en site diffus (agent technique sur plusieurs sites).

En exploitation, adopter un réflexe QAI sur :

- (1) Des contrats d'entretien plus ambitieux avec notamment un entretien régulier de l'installation (nettoyage des grilles, maintenance des filtres, etc.) et un contrôle périodique des débits aux bouches sur une fréquence similaire à ce qu'impose BACS (5 ans) sur les équipements de Gestion Technique du Bâtiment GTB, de production de chaleur et de ventilation.
- (2) Une organisation à tester autour d'un référent énergie, poste souvent créé, avec un périmètre d'intervention élargi à la QAI (si l'entreprise ne dispose déjà pas d'un service QAI) tant les actions sont concomitantes :
 - a. impulser un dialogue avec les occupants (locataires ou non) et le bailleur / gestionnaire de site;
 - b. piloter des équipements communs à l'énergie et la QAI (Centrale de traitement d'air, GTB, etc.) ;
 - c. monitorer la consommation énergétique et les niveaux QAI avec gestion des alarmes et actions auprès de l'exploitant technique, tout en prenant en compte le niveau d'occupation.

²² Building Automation Control System

5 ADOPTER LE SOCLE DE PENSEE QAI SUIVANT : (1) SOBRIETE, (2) EFFICACITE AERAUQUE ET (3) FILTRATION, PERMET DE CONSTRUIRE UNE STRATEGIE EFFICACE POUR CONCILIER EFFICACITE ENERGETIQUE ET QUALITE DE L'AIR INTERIEUR POUR LES OCCUPANTS



Par m³/h, est entendu la métrique du débit d'air neuf extérieur nécessaire pour renouveler l'air intérieur vicié. Par analogie, la métrique en énergie est la consommation énergétique en kWh.

Décryptage du graphique sur l'impact énergie :

Le merit order en énergie connu de la filière est le suivant : consommer moins avec la réduction des besoins thermiques du bâtiment et par les actions de sobriété énergétique puis par l'efficacité des systèmes énergétiques. Un parallèle est réalisable sur la QAI. Agir sur le pilier de la sobriété QAI permet de limiter le recours à un renouvellement d'air plus important que la situation initiale du bâtiment que ce soit par l'aération ou les débits d'air neuf de la ventilation mécanique (optimisation). Toute action en ce sens permet de limiter significativement l'impact sur la consommation énergétique du bâtiment.

GLOSSAIRE DES ABREVIATIONS

Ademe : Agence de la Transition Écologique

BACS : Building Automation Control System

Cerema : Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

CTA : centrales de traitement d'air

COVt : Composés organiques volatiles totaux

CO₂ : dioxyde de carbone

CVC : Chauffage ventilation climatisation

DGPR : Direction Générale de la Prévention des Risques

EET : Dispositif Eco Energie Tertiaire

EEB : Efficacité énergétique des bâtiments

ERP : établissement recevant du public

GTB : Gestion technique du bâtiment

HAE : Hub Air Energie

IFPEB : Institut français pour la performance du bâtiment

PM_{2,5} en anglais pour Particulate matter, particules fines de diamètre inférieur à 2.5 µm